



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 197 10 217 C 1

⑤ Int. Cl.⁶:
G 01 V 13/00
G 01 C 25/00
// G 01 V 1/00, G 01 C
9/00, 19/00

⑲ Aktenzeichen: 197 10 217.4-52
⑳ Anmeldetag: 12. 3. 97
㉑ Offenlegungstag: -
㉒ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 1. 10. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑬ Patentinhaber:
GeoForschungsZentrum Potsdam, 14473 Potsdam,
DE

⑭ Vertreter:
v. Bezold & Sozien, 80333 München

⑰ Erfinder:
Unterreitmeier, Erhard, Dr., 07749 Jena, DE; Töpfer,
Martin, 14478 Potsdam, DE

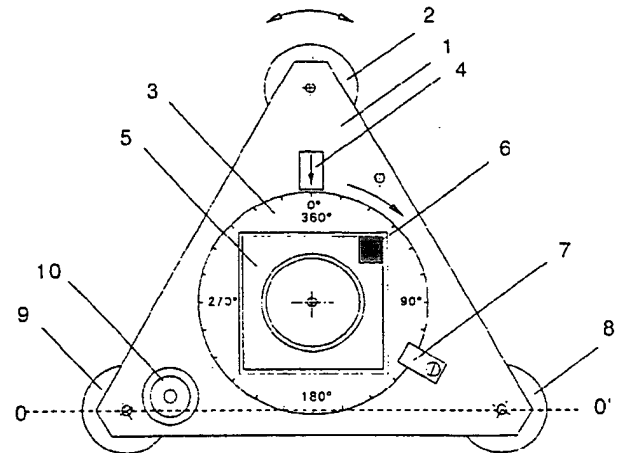
⑮ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 40 02 493 A1
DD 2 16 332 A1
US 43 02 962

DE-Buch: TEUPSER, Ch.: Die Eichung und Prüfung
von elektrodynamischen Seismographen, in:
Freiberger Forschungshefte, C130, Geophysik,
Berlin 1962;

⑤③ Verfahren und Vorrichtung zur Seismometerprüfung

⑤④ Eine Vorrichtung zur Erfassung von Parametern eines
Schwigungs- oder Neigungsmeßgeräts besitzt eine Nei-
gungsplattform mit einer arretierbaren Drehscheibe zur
Aufnahme des Meßgeräts und Mittel zur Erfassung der
Auslenkung eines Massenelements des Meßgeräts. Die
Geräteparameter werden erfaßt, indem Auslenkungssi-
gnale des Massenelements für eine Vielzahl von Dreh-
und Neigungspositionen des Meßgeräts auf der Dreh-
scheibe ermittelt und verarbeitet werden.



DE 197 10 217 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung von Betriebsparametern eines Seismometers, Neigungsmeßgerätes, Pendelgerätes oder dgl., ein Prüf- und Justierverfahren für derartige Geräte und eine Vorrichtung zur Durchführung der Verfahren. Die erfindungsgemäßen Verfahren sind insbesondere auf die Erfassung von Mängeln beim Geräteaufbau und auf die Erfassung von Richtcharakteristiken der Geräte gerichtet.

Die Kenntnis von Betriebsparametern von Seismometern ist die Voraussetzung dafür, genau, reproduzierbar und, insbesondere bei der Erfassung seismischer Ereignisse, richtungsselektiv messen zu können. Zu den Betriebsparametern zählen alle statischen oder dynamischen mechanischen Merkmale eines Sensorsystems, die insbesondere für die Reproduzierbarkeit der Messungen (Hysteresis, Drehung der Hauptempfindlichkeitsrichtung) wichtig sind.

Es ist bekannt, zur Überprüfung von Seismometern, Neigungsmeßgeräten, Pendeln u. dgl., diese elektrisch oder pneumatisch mit Testsignalen derart anzuregen, daß Aussagen über die Parameter Eigenfrequenz, Dämpfung und Indikatorvergrößerung (Meßempfindlichkeit) sowie über den Frequenzgang gewonnen werden können. Insbesondere für Seismometer existieren eine Vielzahl von Test- und Prüfmethoden (s. C. Teupser: "Die Eichung und Prüfung von elektrodynamischen Seismometern", Freiburger Forschungshefte, C 130, Geophysik, Berlin 1962). Aus DD 216 332 ist ein iteratives Prüf- und Eichverfahren für Seismometer insbesondere zur Erfassung der Seismometerlinearität und möglicher Seismometerhysteresen bekannt. Dazu wird eine Wobbelkurve zwischen Seismometermaximalausschlägen hinsichtlich der Krümmung und Aufspaltung des Kurvenverlaufs ausgewertet. Es ist ferner bekannt, Seismometer oder Pendel in unterschiedlichen Azimuten zu neigen, um die vorhandene Neigungsempfindlichkeit für nachfolgende Messungen für einen sicheren Betrieb bei zu erwartenden größeren Neigungsänderungen am Aufstellungsort zu ermitteln.

Die bekannten Verfahren besitzen den Nachteil, daß sie keine praktikablen Mittel zur Erfassung von Mängeln beim Geräteaufbau und zur Auffindung von konstruktiven Quellen für Hystereseverhalten darstellen. Ferner sind bei der Ermittlung der Richtcharakteristik durch die üblicherweise vorhandene Dreipunkt-Aufstellung lediglich Grob Aussagen möglich. Eine Prüfung, ob die Hauptempfindlichkeitsrichtung eines montierten Gerätes mit der theoretischen, konstruktiv bedingten Hauptempfindlichkeitsrichtung zusammenfällt, ist mit der herkömmlichen Technik nicht möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, verbesserte Verfahren zur Ermittlung von Betriebsparametern von Schwingungs- oder Neigungsmeßgeräten und zu deren Prüfung und Justierung anzugeben, wobei mit den Verfahren mit geringem Aufwand insbesondere Aufbaumängel erfaßt und mit einer wählbaren Winkelauflösung die reale Hauptempfindlichkeitsrichtung bestimmbar sein soll, und eine Vorrichtung zur Durchführung der Verfahren anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der Patentansprüche 1, 7 und 8 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Der Erfindung liegt insbesondere die Idee zugrunde, ein Schwingungs- oder Neigungsmeßgerät (im folgenden: Testgerät) mit mindestens einem beweglichen Massenelement um eine gegenüber der Vertikalen geeignigen Drehachse drehbar und bei vorbestimmten Drehwinkeln arretierbar anzuordnen, die Auslenkung des oder der Massenelemente in Abhängigkeit vom Drehwinkel zu messen und die Auslenkungen, die bei Drehwinkeln gemessen wurden, die der je-

weiligen Hauptempfindlichkeitsrichtung und einer darauf senkrecht stehenden Richtung entsprechen, zur Erfassung der Richtungscharakteristik des Testgerätes und eventuell vorhandenen Hystereseverhaltens auszuwerten. Dieses Verfahren ist vorteilhafterweise in mehreren Stufen iterativ durchführbar. Eine erste Iteration kann auf die Bestimmung eines optimalen Winkelschrittmahes bei der Drehung des Testgerätes zur Erfassung der Hauptempfindlichkeitsrichtung gerichtet sein. Eine zweite Iteration kann auf die mehrfache Durchführung des erfindungsgemäßen Prüfverfahrens gerichtet sein, wobei nach jedem Verfahrensdurchlauf bauliche Änderungen am Testgerät vorgenommen werden können, um das Hystereseverhalten oder Achsendrehungen zu minimieren.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung besteht aus einer Meßanordnung, die eine Neigungsplattform zur gegenüber der Vertikalen geeignigen und drehbaren Anordnung des Testgerätes, Winkelmeßmittel zur Erfassung der Neigung und des Drehwinkels des Testgerätes, Wegaufnahmemittel zur Erfassung der Auslenkung des Massenelements und Auswertungs- und Anzeigemittel umfaßt.

Einzelheiten der Erfindung werden im folgenden unter Bezug auf die Figuren beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Draufsicht auf eine erfindungsgemäße Vorrichtung;

Fig. 2 eine Flußdiagramm zur Erläuterung eines erfindungsgemäßen Prüf- und Justierverfahrens für ein Testgerät;

Fig. 3 eine Kurvendarstellung zur Illustration der Hysteresemessung; und

Fig. 4 eine Kurvendarstellung zur Illustration der Erfassung der Hauptempfindlichkeitsrichtung.

Die im folgenden beschriebene erfindungsgemäße Vorrichtung gemäß Fig. 1 ist zur Durchführung des erfindungsgemäßen Prüfverfahrens verwendbar. Die Realisierung des Verfahrens ist jedoch nicht auf den Einsatz einer derartigen Vorrichtung beschränkt.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfaßt gemäß Fig. 1 eine Neigungsplattform 1, auf der mittig eine Scheibe 3 drehbar angeordnet ist. Die Scheibe 3 trägt auf ihrem äußeren Rand eine Gradeinteilung. Mit einem auf der Neigungsplattform 1 an die Scheibe 3 angrenzend angebrachten Index 4 ist die aktuelle Ausrichtung (Drehwinkel) ϕ der Scheibe 3 ablesbar. Mit dem Arretiermittel 7 ist die Scheibe 3 gegenüber der Neigungsplattform 1 arretierbar. Die Neigungsplattform 1 wird von höhenveränderlichen Stützmitteln in Form einer Dreipunktauflage (Fußschrauben 2, 8 und 9) getragen. Dabei sind beispielsweise die Fußschrauben 8 und 9 gegebenenfalls in Zusammenwirkung mit einem Horizontiermittel (Dosenlibelle) 10 zur Einstellung einer horizontalen Achse O, O' eingerichtet, während mit der Fußschraube 2 die Neigungsplattform um vorbestimmte Neigungswinkel um die Achse O, O' kippbar ist. Dementsprechend wird die Drehachse der Scheibe 3 gegenüber der Vertikalen geneigt. Der Index 4 ist vorzugsweise auf einer Linie positioniert, die durch das zur Einstellung des Neigungsmeßwinkels vorgesehene Stützmittel führt und senkrecht auf der Verbindungslinie der übrigen zwei Stützmittel steht.

Die Scheibe 3 ist dazu vorgesehen, mit geeigneten Befestigungsmitteln (nicht dargestellt) ein Testgerät 5 aufzunehmen. Falls das Testgerät 5 (Seismometer, Neigungsmeßgerät, Pendel oder dgl.) keinen integrierten Wegaufnehmer besitzt, so kann an der Vorrichtung zusätzlich ein elektrischer Wegaufnehmer 6 (schematisch dargestellt) zur Erfassung von Auslenkungen des oder der Massenelemente des Testgerätes angebracht sein. Das Testgerät wird vorzugsweise auf der Scheibe 3 angebracht, daß die konstruktive Hauptempfindlichkeitsrichtung mit der 0°-180°-Richtung Scheibe 3 zusammenfällt. Die Scheibe 3 der erfindungs-

mäßen Vorrichtung ist in frei wählbaren, festen Schritten von 0° bis über 360° hinaus im Azimut in Bezug auf den festen Index 4 drehbar.

Das erfindungsgemäße Verfahren umfaßt, nachdem z. B. ein Seismometer als Testgerät gegebenenfalls mit einem berührungslosen Wegaufnehmer mit dem Ausgangssignal $U(z)$ (z ist die Auslenkung des Massenelements des Testgerätes gegenüber einem Nullpunkt) versehen und kalibriert worden ist, die folgenden Schritte (siehe auch Fig. 2):

1. Das Seismometer wird drehbar auf der Scheibe 3 der Neigungsplattform 1 befestigt, wobei die Drehachse der Scheibe 3 durch die Mitte des Drehgelenks des Seismometers läuft und vertikal und parallel zur inneren Drehachse des Seismometers steht. Das Testgerät wird so auf der Scheibe 3 befestigt, daß seine Hauptempfindlichkeitsrichtung mit der Richtung 0° 180° zusammenfällt.

2. An der Neigungsplattform wird eine vorbestimmte Grundneigung durch Betätigung der Fußschraube 2 eingestellt. Die Grundneigung wird derart gewählt, daß bei maximalem Neigungseinfluß auf das Seismometer die Meßgrenzen des Wegaufnehmers 6 im Ausschlagsbereich z. nicht überschritten werden. Die Grundneigung liegt beispielsweise im Bereich 1° bis 3° .

3. Die Scheibe 3 mit dem Testgerät 5 wird gegenüber dem Index 4 in Winkelschritten $\Delta\phi$ von der Anfangsausrichtung 0° bis über die Ausrichtung 360° hinaus im Azimut gedreht. Nach jedem Winkelschritt wird die Scheibe mit dem Arretiermittel 7 festgeklammert und das Signal $U(z(\phi))$ des Wegaufnehmers registriert.

4. Zur Bestimmung der Nullstellen der Auslenkung z, die bei Ausrichtung des Testgerätes senkrecht zur realen Hauptempfindlichkeitsrichtung gegeben sind, wird die Gesamtregistrierung $U(z)$ einer Volldrehung ausgewertet (s. unten, Fig. 4). Ist die Nullstellenerfassung zu ungenau, so wird eine erneute Messung gemäß Schritt 3. mit verkleinerten Winkelschritten $\Delta\phi'$ im Bereich der erwarteten Nullstellen durchgeführt.

5. Ergeben die Werte $U(z)$ zu Beginn der Drehung (bei 0°) und am Ende der Drehung (bei 360°) eine Auslenkungsdifferenz ΔGL , deren Betrag größer als eine akzeptable Mindestauslenkungsdifferenz ist, so wird das Prüfverfahren unterbrochen und eine Korrektur der Testgerätjustierung (Verbesserung der Zusammenbau-, Änderung von Einzelteilen oder dgl.) durchgeführt. Anschließend werden die Schritte 1. bis 4. erneut durchgeführt. Falls die Auslenkungsdifferenz unterhalb der akzeptablen Mindestauslenkungsdifferenz liegt, so folgen die Schritte 6. und 7. Die Mindestauslenkungsdifferenz wird in Abhängigkeit vom getesteten Gerät und den an dieses gestellte Genauigkeitsanforderungen geeignet ausgewählt.

6. Es wird die Ausrichtung der Scheibe 3 (Winkelwerte $E1'$) ermittelt, bei der die Funktion ($U(z)$) Nullstellen besitzt. Erwartungsgemäß müßte die Richtung $E1'$ senkrecht zur konstruktiven Hauptempfindlichkeitsrichtung 0° 180° liegen (theoretisch: $E1: 90^\circ$ 270°). Falls die Abweichung größer als eine akzeptable Mindestwinkeldifferenz ist, so wird das Prüfverfahren wiederum für einen Justierschritt unterbrochen. Bei der Justierung wird die Achsendrehung des Seismometers verringert. Anschließend beginnt das Prüfverfahren wiederum bei Schritt 1. Eine Mindestwinkeldifferenz wird wiederum in Abhängigkeit von den Anforderungen und vom Testgerättyp gewählt.

Wert kann z. B. bei einem Seismometer 3° betra-

7. Abschließend wird die reale Hauptempfindlichkeitsrichtung des Testgeräts und ihre Abweichung von der konstruktiven Hauptempfindlichkeitsrichtung registriert. Die Registrierung kann beispielsweise die Aufnahme in ein Eichprotokoll des Testgerätes (gemeinsam mit weiteren, unabhängig bestimmten Parametern) oder eine Speicherung als Korrekturwert für den späteren Seismometerbetrieb umfassen.

10 Zusätzlich zu den oben erläuterten Schritten kann zur Kontrolle der Horizontierung der Neigungsplattform 1 bzw. zur Kontrolle des Wegaufnehmers 6 vorgesehen sein, das Testgerät bei einer Neigung von 0° in der Horizontalen zu drehen. Damit wird eine verbleibende Meßungenauigkeit ermittelt. Die maximale Verschiebung der Gleichgewichtslage GL eines Seismometers bei Volldrehung kann z. B. zu $6,5 \mu m$ ermittelt werden. Dieser Beispielwert stellt die Ungenauigkeit der Prüfanordnung dar. Bei Auslenkungsmessungen mit einer Neigung der Neigungsplattform von z. B. $\pm 1^\circ$ würden sich somit bei Auslenkungen von beispielsweise $\pm 200 \mu m$ Aussagen genügender Genauigkeit treffen lassen. Das Verhältnis des gemessenen Auslenkung zur Meßungenauigkeit verbessert sich sogar noch bei größeren Neigungen der Neigungsplattform, da sich im interessierenden Neigungsbereich von 3° 4° ein im wesentlichen linearer Zusammenhang zwischen der Neigung und der Auslenkung des Seismometers gezeigt hat. Diese Referenzmessung kann vor dem Schritt 3. oder nach dem Schritt 6. erfolgen.

Da das Signal $U(z)$ Störgrößen wie der Bewegung des Untergrunds ausgesetzt ist, sollte beispielsweise ein ruhiger Testort gewählt oder eine Schwingungsisolierung eingesetzt werden. Ferner sind Vorkehrungen zur Minimierung von Störungen durch die Handhabungen der das Prüfverfahren durchführenden Person vorzusehen.

35 In Fig. 3 ist beispielhaft das Meßergebnis mit einem Seismometer nach Abschluß der Erstmontage dargestellt. In Abhängigkeit vom Drehwinkel ϕ ist das Signal $U(z)$ nach Messung bei diskreten Winkeleinstellungen jeweils als Polarkoordinatenmeßpunkt eingezeichnet. Es zeigt sich, daß der Anfangspunkt A und der Endpunkt E nach Durchlaufen des Vollkreises nicht zusammenfallen, sondern daß eine Abweichung ΔGL auftritt. Die Analyse dieser Hysterese zeigt, daß sich die Federkraft im Testgerät verändert hat, was auf die obere Federbefestigung hinweist, die sich bei der Testgerätdrehung unter Wirkung der Reibung milderde. Eine konstruktive Änderung erlaubt die Beseitigung dieser Fehlerquelle, die ohne das erfindungsgemäße Prüfverfahren nicht auffindbar gewesen wäre.

Fig. 4 zeigt beispielhaft das Ergebnis an dem Seismometer mit verbesserter Federaufhängung. Die Hysterese ist beseitigt. Allerdings liegt eine Achsendrehung $\Delta\phi$ vor. Die Achsendrehung weist auf ein nicht ganz paariges Federgelenk im Seismometer hin. Diese Federquelle kann durch Nachjustierung oder Ersatz von Bauteilen vermindert werden. Liegen hier jedoch Herstellungsgrenzen oder -toleranzen vor, so wird die ermittelte Achsendrehung (Drehung der Hauptempfindlichkeitsdrehung von N auf N' bzw. S auf S') als zusätzlicher Parameter des Seismometers für den Anwender protokolliert.

Die Erfindung kann dahingehend modifiziert werden, daß zur Hysteresemessung bei niedrigen Genauigkeitsanforderungen nicht notwendig ein Vollkreis, sondern gegebenenfalls lediglich ein Halbkreis vermessen wird. Ferner sind die Hysterese- und die Achsendrehungsmessungen voneinander unabhängig durchführbar. Falls ein Testgerät mehrere bewegliche Massenelemente aufweist, so ist das erfindungsgemäße Verfahren jedes der Massenelemente getrennt anwendbar. Die Winkelschritte bei der Auslenkungsmessung

können beliebig klein gewählt werden, so daß auch ein genügend langsames, kontinuierliches Durchfahren des Vollkreises mit simultaner Aufnahme von $U(z(\phi))$ möglich ist.

Die Erfindung besitzt die folgenden Vorteile. Die Erfindung erlaubt unter geringem Aufwand, ein aus Baugruppen montiertes und justiertes Testgerät dahingehend zu untersuchen, ob unerwünschte Hysteresen bei Neigungen oder bei großen Meßsignalen im mechanischen Verband auftreten und ob Abweichungen der Hauptempfindlichkeitsrichtung auftreten. Durch eine direkte Messung eines einfach zugänglichen Meßwertes (Auslenkung) wird eine bisher nicht verfügbare Information zur Hauptempfindlichkeitsrichtung gegeben. Damit läßt sich die Genauigkeit von Seismometern z. B. bei der Ortung von seismischen Ereignissen erheblich verbessern.

Besser als bisher ist mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kontrollierbar, ob z. B. paarige Drehgelenke im Seismometer oder Pendel wirklich in beiden Teilen physikalisch gleichwertig sind und ob sich als starr vorausgesetzte Teile verdrehen können. Hiermit ergeben sich konkrete Hinweise zur Fehlersuche und zur Behebung von Schwachstellen bei der Verarbeitung, Montage und Justierung. Erstmals wird mit der Erfindung ein Prüfverfahren mit frei wählbarer Winkelgenauigkeit gegeben. Die Ermittlung der Richtcharakteristik ist nicht wie bei herkömmlichen Geräten auf sechs Meßwerte (bei drei Aufstellungsfüßen) begrenzt. Die Schrittweite der Messung ist vielmehr frei wählbar.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung von Betriebsparametern eines Meßgerätes zur Schwingungs- oder Neigungsmessung mit mindestens einem beweglichen Massenelement, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Meßgerät für eine Auslenkungsmessung um eine ortsfeste Achse, die gegenüber der Vertikalen um eine vorbestimmte Achsenneigung geneigt ist, von einer Ausgangsausrichtung ϕ_A in vorbestimmten Winkelschritten bis zu einer Endausrichtung $\phi_E = \phi_A + n \cdot 180^\circ$ (n ganze Zahl) gedreht wird, wobei zu jedem Winkelschritt ein für die Auslenkung z des Massenelements charakteristisches Auslenkungssignal $U(z(\phi))$ in Abhängigkeit vom Drehwinkel ϕ erfaßt wird, und nach der Auslenkungsmessung zur Parametererfassung die Auslenkungssignale $U_A(z(\phi_A))$ und $U_E(z(\phi_E))$, deren Differenz $(U_A - U_E)$ und die Nullstellen ϕ_{NS} der Funktion $U(z(\phi_{NS})) = 0$ ermittelt und verarbeitet werden.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die Ausgangsausrichtung ϕ_A mit einer konstruktiven Hauptempfindlichkeitsausrichtung des Meßgeräts zusammenfällt.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem die Auslenkungsmessung mit jeweils verringerten Winkelschritten wiederholt wird, bis die Werte ϕ_{NS} mit einer vorbestimmten Genauigkeit erfassbar sind.
4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem n den Wert 1 oder 2 besitzt.
5. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zur Parametererfassung ein Korrektursignal angezeigt und/oder gespeichert wird, falls die Differenz $(U_A - U_E)$ als Hysteresewert größer als eine vorbestimmte Mindestauslenkungsdifferenz ist.
6. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zur Parametererfassung aus den Werten ϕ_{NS} die reale Hauptempfindlichkeitsrichtung ermittelt wird, die sich um einen Achsendrehungswert von der konstruktiven Hauptempfindlichkeitsrichtung un-

terscheidet.

7. Justierverfahren für ein Meßgerät zur Schwingungs- oder Neigungsmessung, bei dem ein Verfahren gemäß Anspruch 5 oder 6 wiederholt durchgeführt wird, falls die ermittelten Hysterese- und Achsendrehungswerte vorbestimmte Grenzen überschreiten, wobei vor jedem Verfahrensdurchlauf Justier- und/oder Montageschritte erfolgen.

8. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens zur Erfassung von Betriebsparametern eines Meßgeräts zur Schwingungs- oder Neigungsmessung mit mindestens einem beweglichen Massenelement, umfassend:

- eine Neigungsplattform, die in vorbestimmter Weise gegenüber der Horizontalen neigbar ist, eine Drehscheibe zur Aufnahme des Meßgeräts, die auf der Neigungsplattform drehbar angeordnet und in vorbestimmten Winkelpositionen arretierbar ist, und Mittel zur Erfassung der Auslenkung eines Massenelements des Meßgeräts.

9. Vorrichtung gemäß Anspruch 8, bei der die Neigungsplattform durch eine veränderliche Dreipunktauflage getragen wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

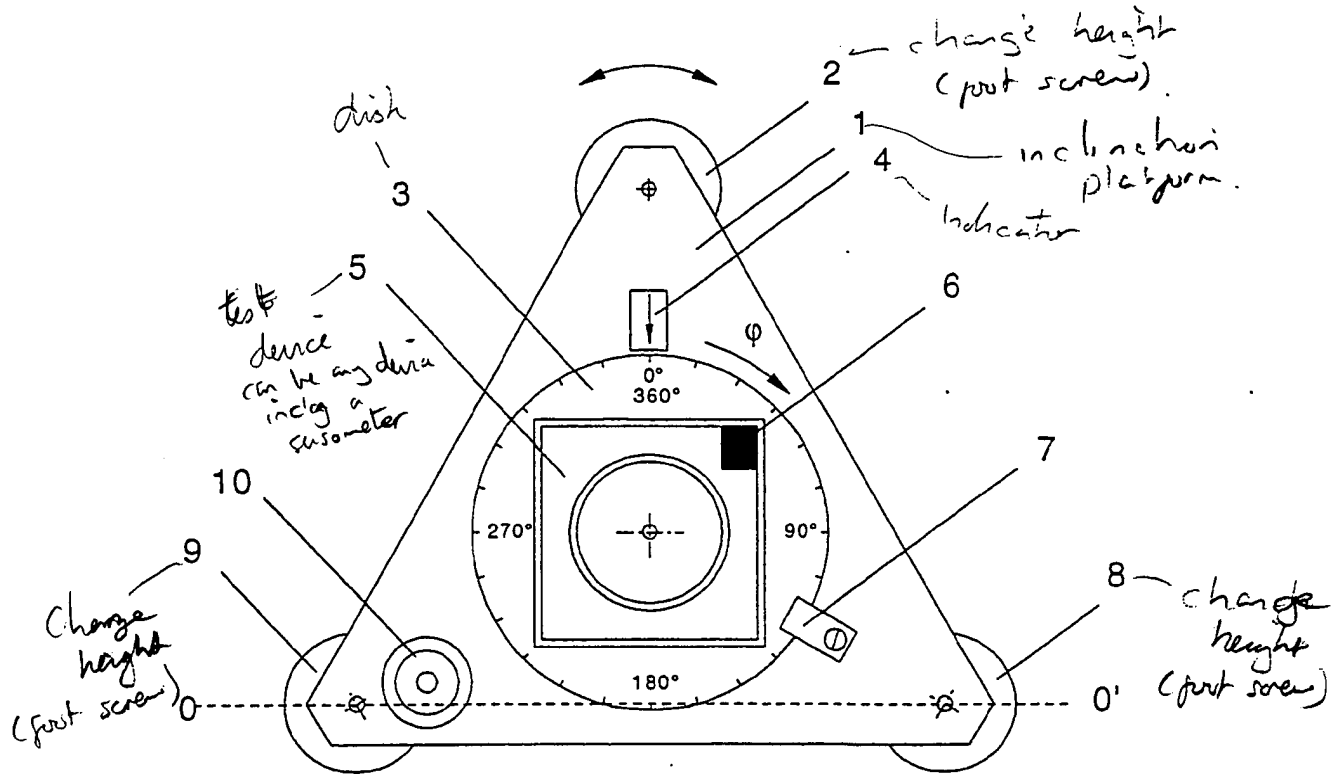


Fig. 1

START

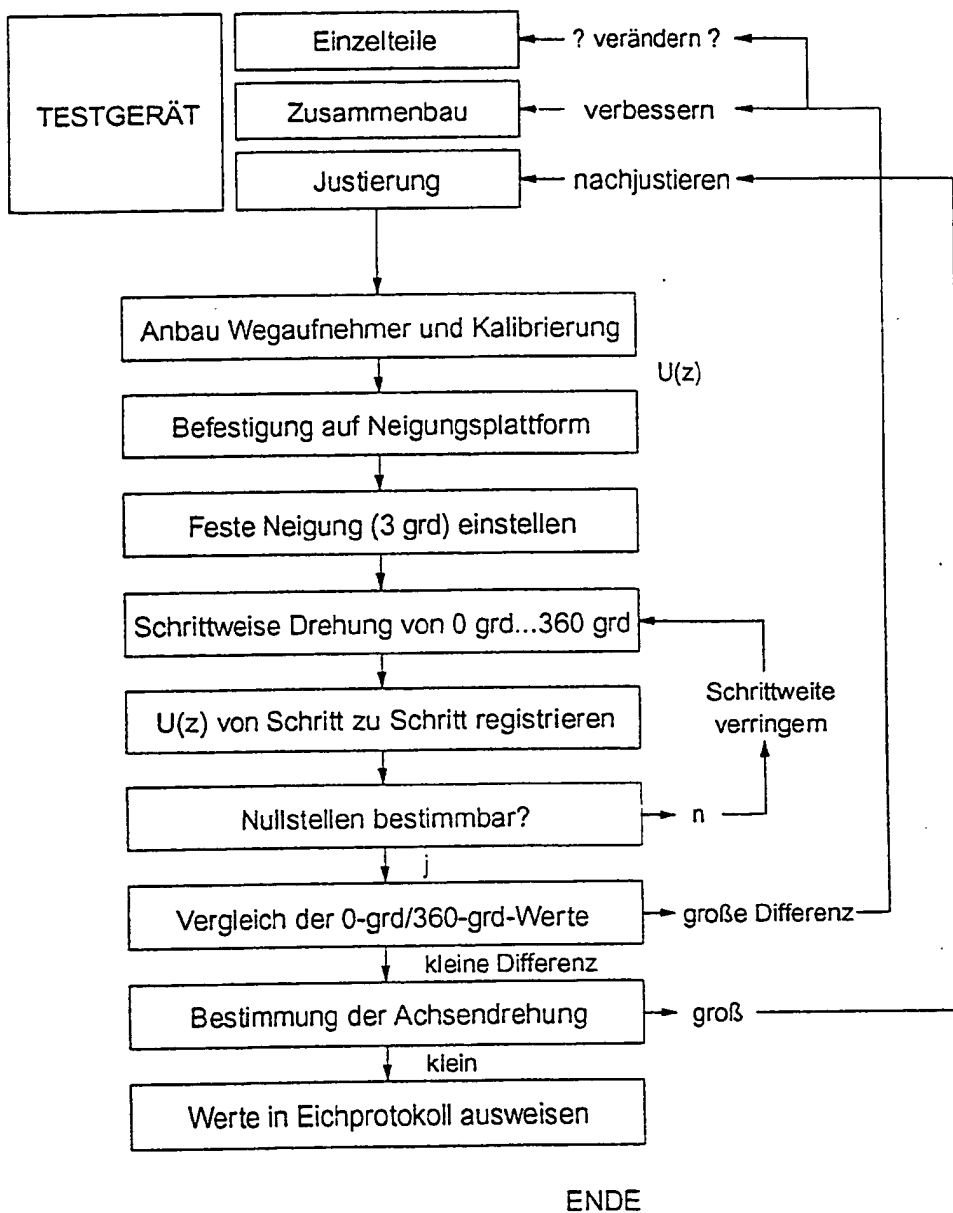


Fig. 2

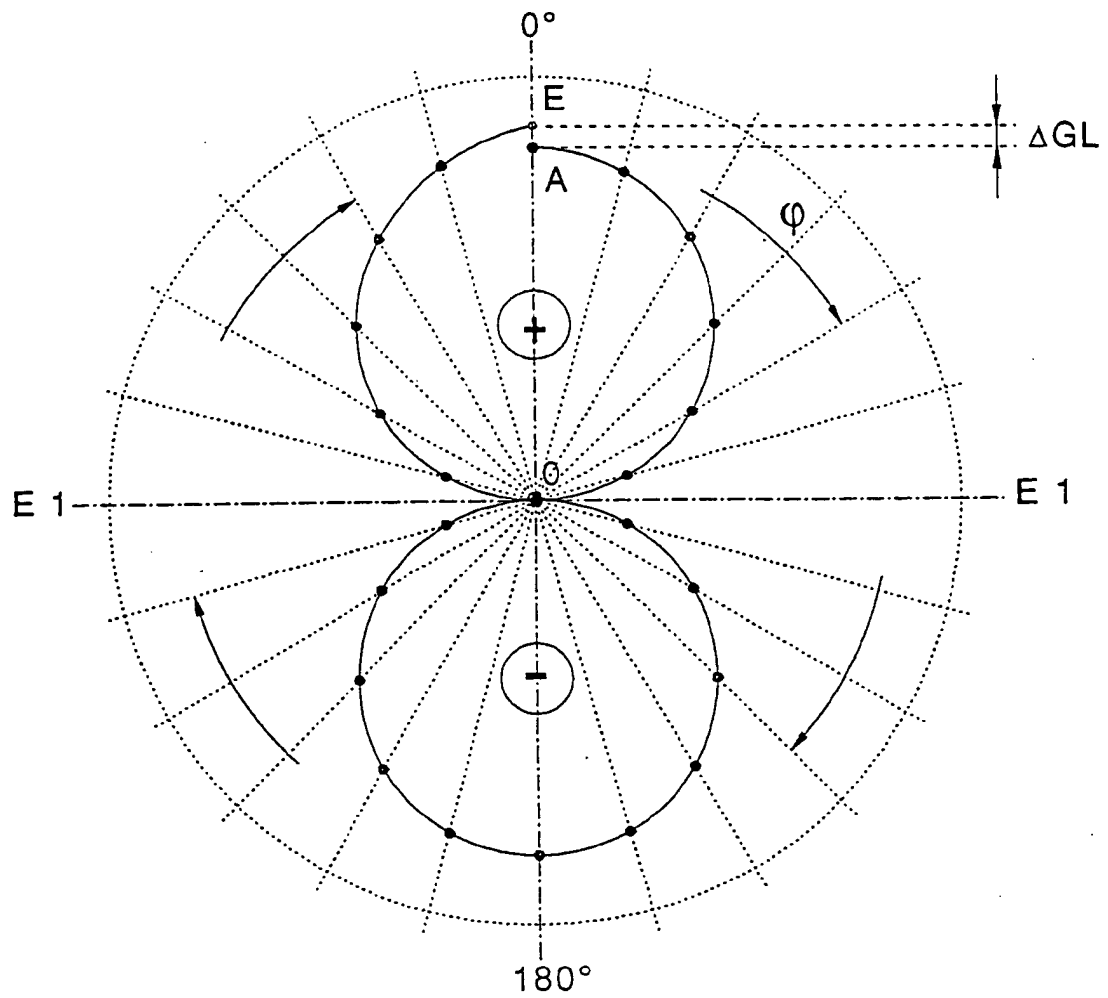


Fig. 3

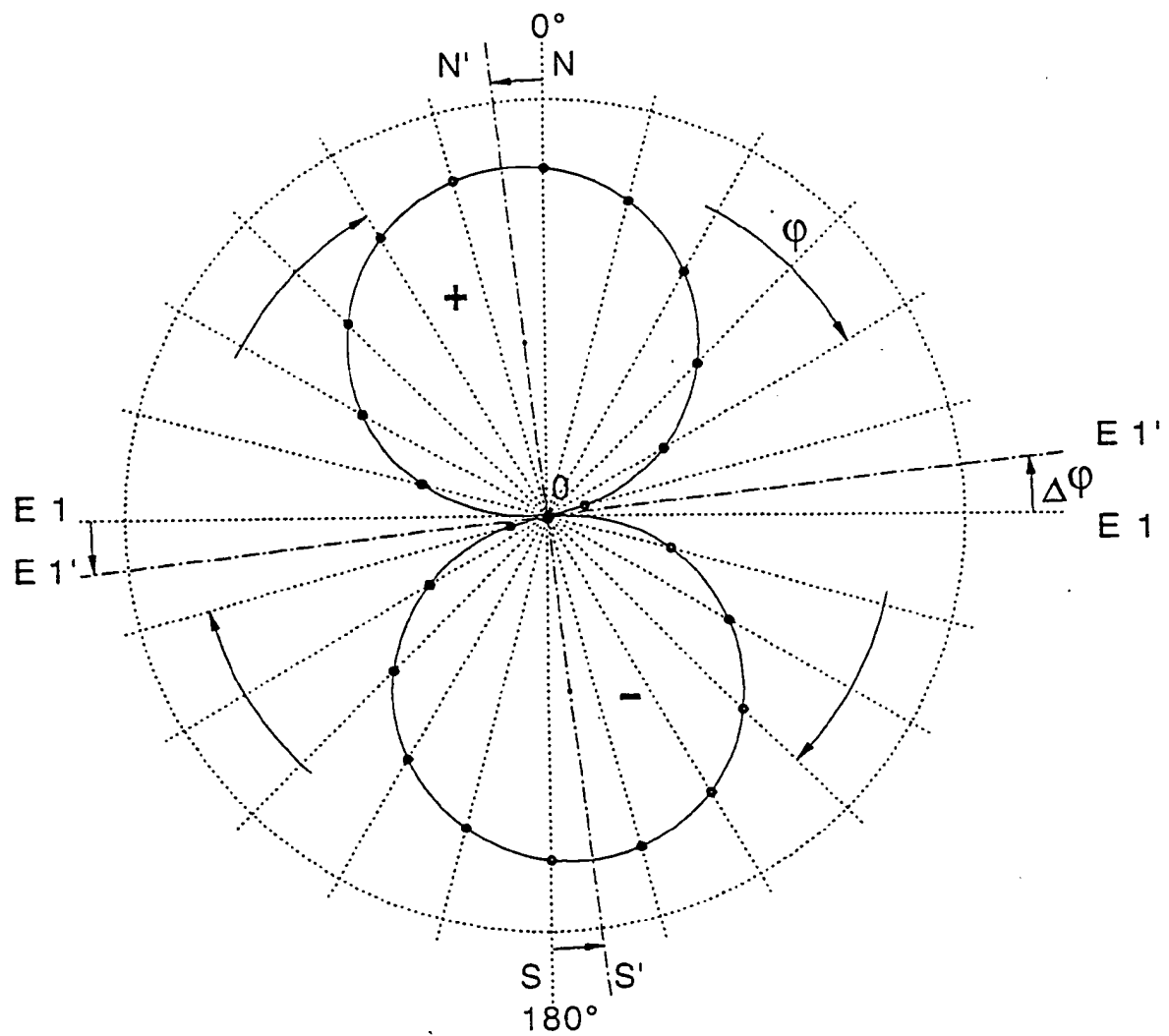


Fig.4